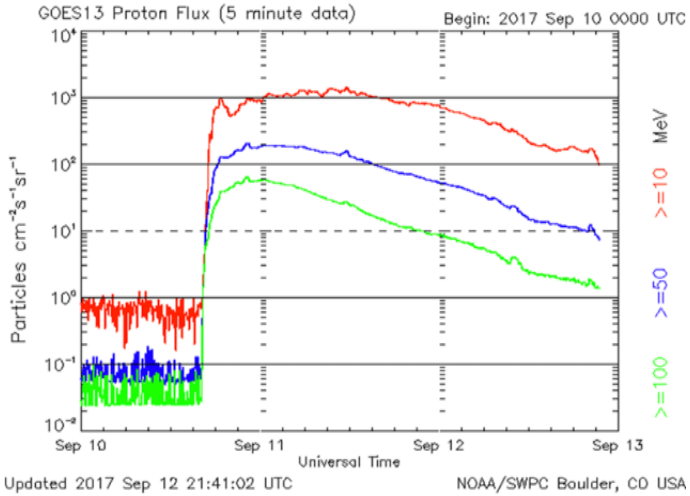
Солнечные протонные события и геомагнитные возмущения с одними и теми же солнечными источниками

Абунина М.А., Шлык Н.С., Белов А.В., Абунин А.А., Белова Е.А.

abunina@izmiran.ru

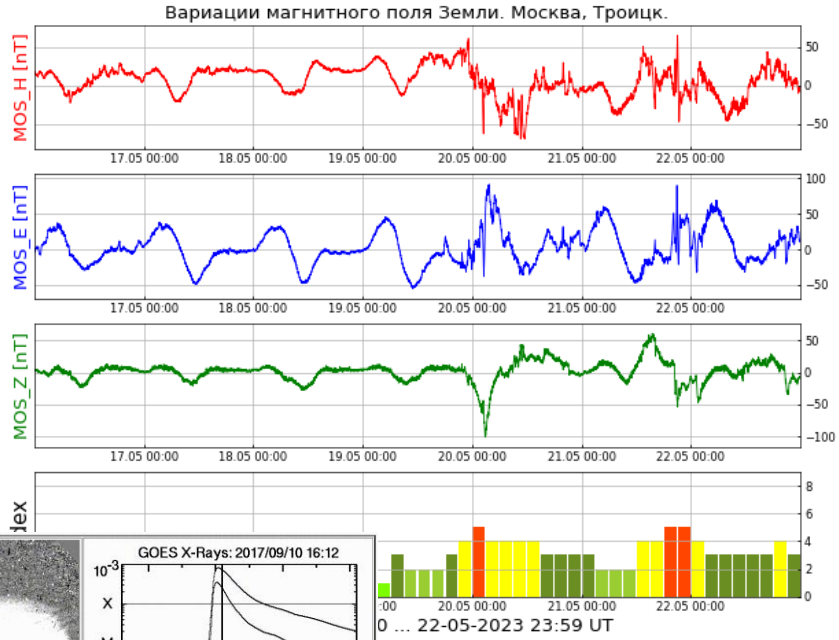
Солнечные протонные события (СПС)

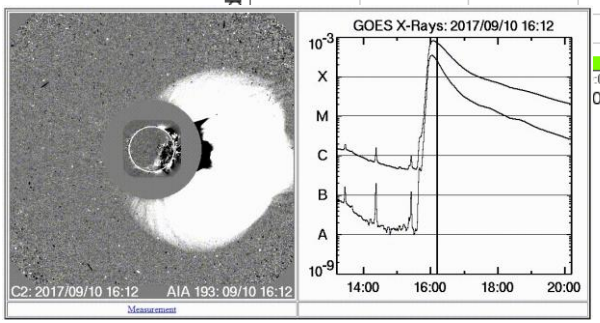
- изменения потока высокоэнергичных солнечных космических лучей, регистрируемые на орбите Земли



Геомагнитные возмущения

- возмущения магнитного поля Земли

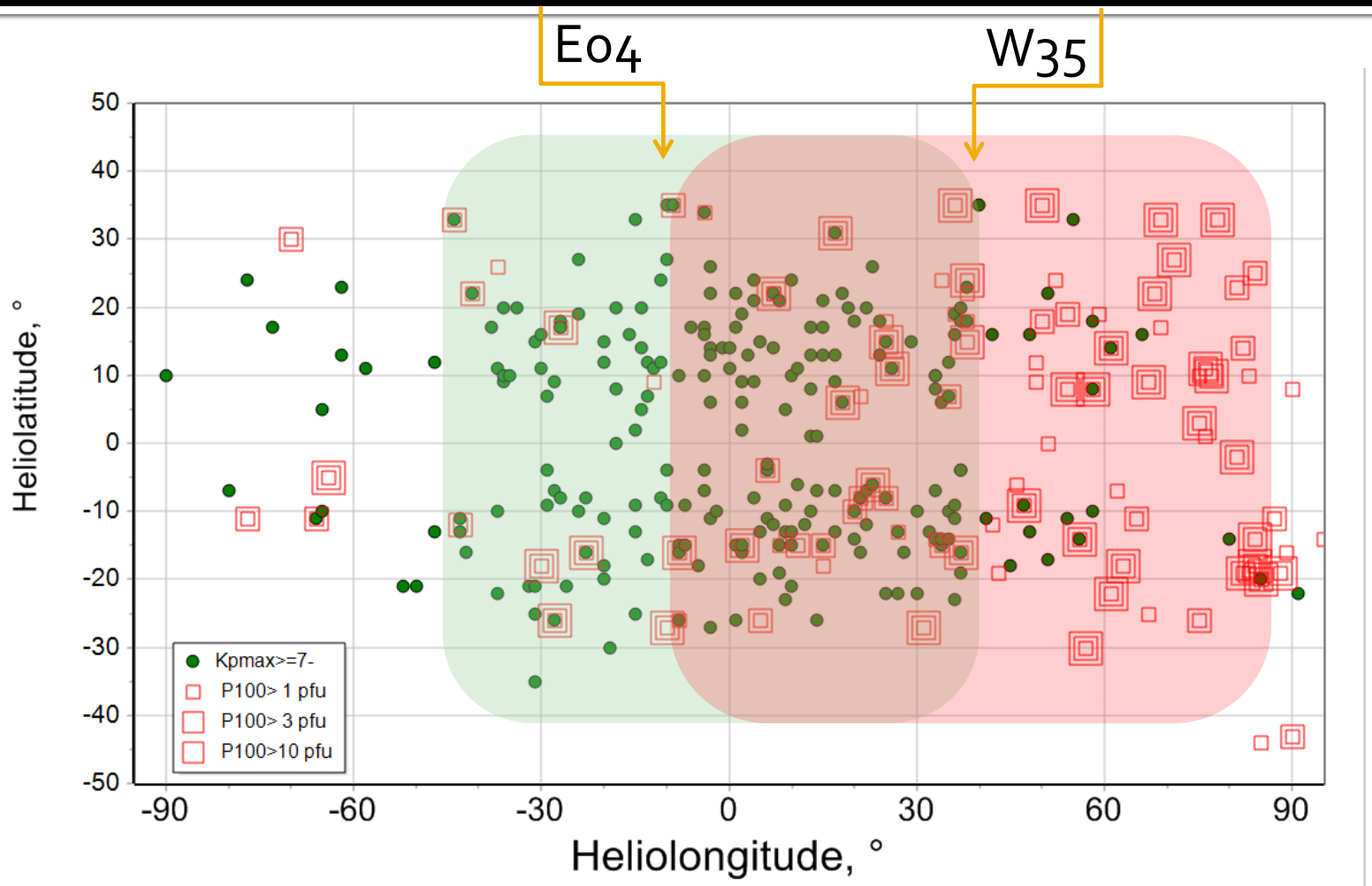




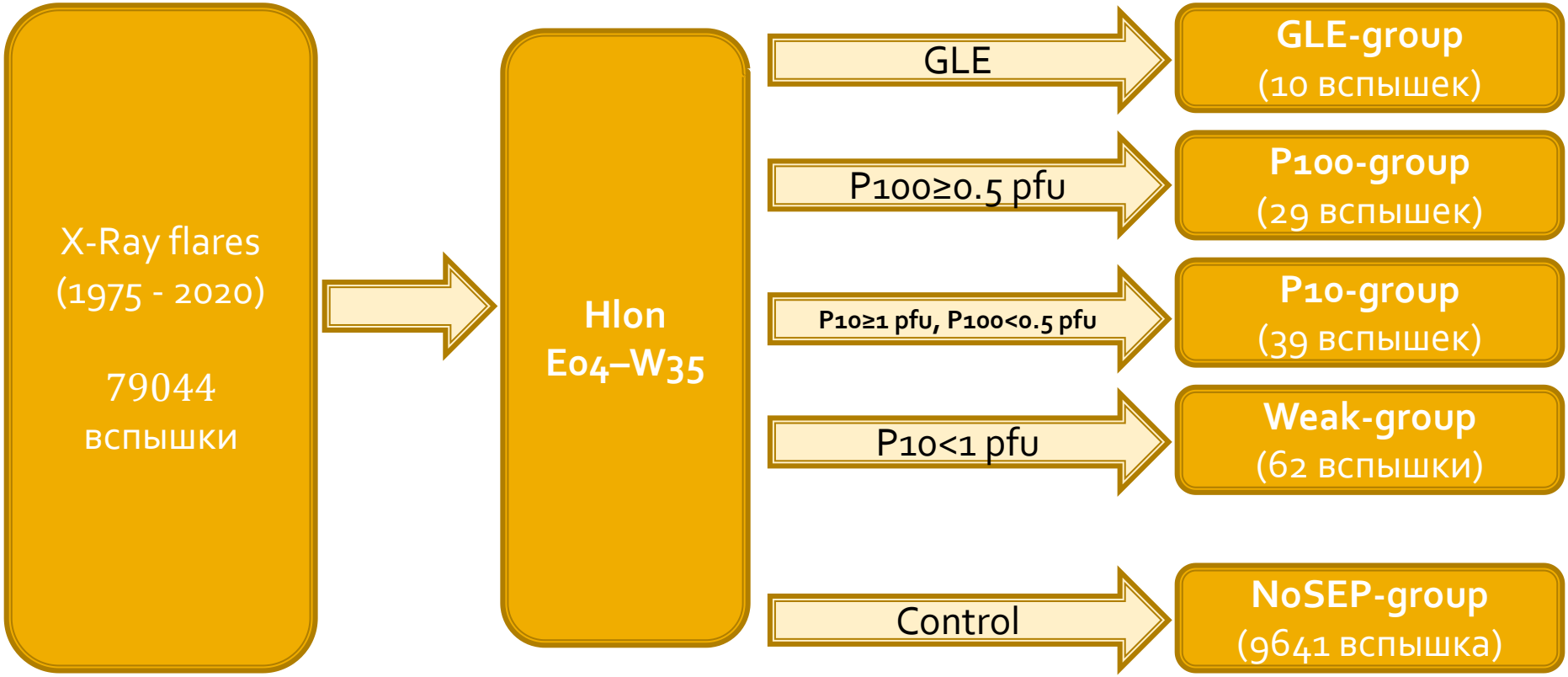
Используемые данные

- База данных солнечных вспышек и протонных событий, ИЗМИРАН
  - http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/lists/xray
  - ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/events/
- База данных Форбуш-эффектов и межпланетных возмущений, ИЗМИРАН (http://spaceweather.izmiran.ru/eng/dbs.html)
- База данных CME (https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list)
- Данные по геомагнитной активности (ftp://ftp.gfz-potsdam.de/pub/home/obs/kp-ap/wdc/, http://wdc.kugi.kyotou.ac.jp/dstdir/index.html)

Выбор событий для исследования



Группы исследуемых вспышек



Средние, максимальные и минимальные значения основных параметров солнечных вспышек

Parameters		GLE-group	P100-group (P100 ≥0.5 pfu)	P10-group (P10≥1 pfu, P100<0.5 pfu)	Weak-group (P10<1 pfu, P100 is not registered)	NoSEP-group
Number of events		10	29	39	62	9641
***Xm*, W/m²**	Mean	$(2.6 \pm 0.5)\cdot 10^{-4}$	$(1.4 \pm 0.2)\cdot 10^{-4}$	$(9.1 \pm 1.8)\cdot 10^{-5}$	$(4.9 \pm 0.8)\cdot 10^{-5}$	$(5.4 \pm 0.1)\cdot 10^{-6}$
	Max	$5.7\cdot 10^{-4}$	$5.0\cdot 10^{-4}$	$5.3\cdot 10^{-4}$	$3.2\cdot 10^{-4}$	$4.70\cdot 10^{-4}$
	Min	$1\cdot 10^{-4}$	$1.9\cdot 10^{-6}$	$1.2\cdot 10^{-6}$	$2.2\cdot 10^{-7}$	$1.0\cdot 10^{-7}$
***dt*, min**	Mean	87.4 ± 25	104.1 ± 17	66.5 ± 8.7	67.3 ± 8.9	25.8 ± 0.3
	Max	240	328	202	318	941
	Min	20	10	1	7	0
***dt1*, min**	Mean	38.7 ± 15	35.4 ± 6.6	23 ± 3.8	17.4 ± 2.68	8.7 ± 0.2
	Max	173	146	116	109	604
	Min	11	3	0	0	0
***P10*, pfu**	Mean	5422.2 ± 3043	421.14 ± 194	81.45 ± 34.58	0.39 ± 0.03	–
	Max	31700	4500	1300	0.95	–
	Min	55	1.1	1	0.1	–
***P100*, pfu**	Mean	156.3 ± 63.7	1.93 ± 0.33	0.22 ± 0.02	0.01	–
	Max	623	7.33	0.5	0.08	–
	Min	7.48	0.5	0.1	0	–
$\lvert\theta\rvert$,°	Mean	16.5 ± 3.4	14.2 ± 1.5	12.3 ± 1.2	16.9 ± 1.0	15.5 ± 0.1
	Max	35	38	29	37	67
	Min	2	0	0	0	0
φ,°	Mean	19.9 ± 3.2	16.3 ± 2	18.5 ± 1.8	15.9 ± 1.5	15.1 ± 0.1
	Max	35	34	34	35	35
	Min	2	-4	-4	-4	-4
V_{CME}, km/s	Mean	1795 ± 214 (6)	1566 ± 157 (12)	1169 ± 114 (19)	743 ± 87 (14)	566 ± 24 (108)
	Max	2547	2861	2411	1271	1376
	Min	938	785	558	224	136

«GLE» мощнее

в 1.9 раз, чем «P100»

в 2.9 раз, чем «P10»

в 5.3 раза, чем «Weak»

в 48 раз, чем «NoSEP»

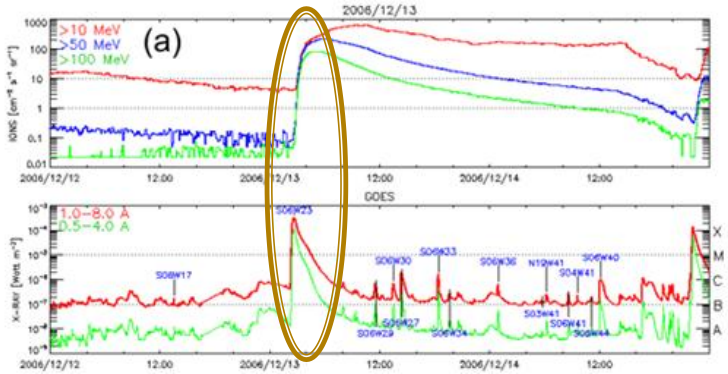
«GLE» и «P100» самые продолжительные

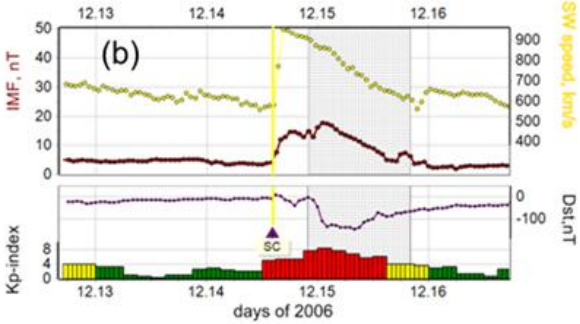
в 1.3-1.5 раз, чем «P10» и «Weak»

в 3.5-4 раза, чем «NoSEP»

Солнечные события и геомагнитные возмущения

Примеры





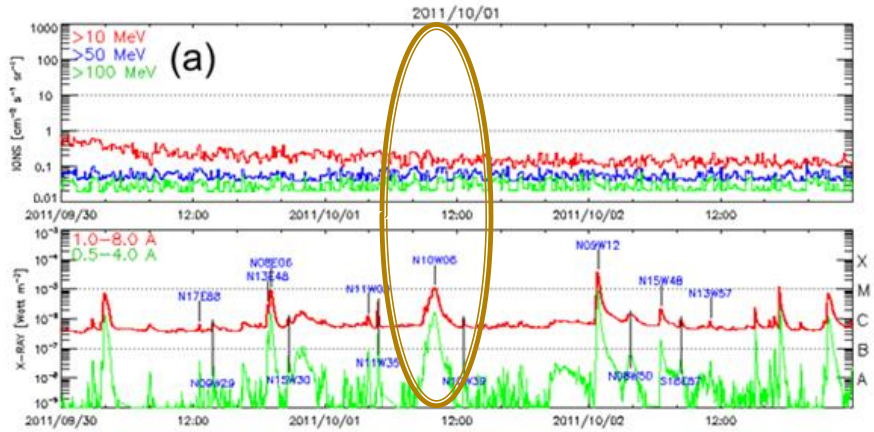
X3.4 (S06W23)

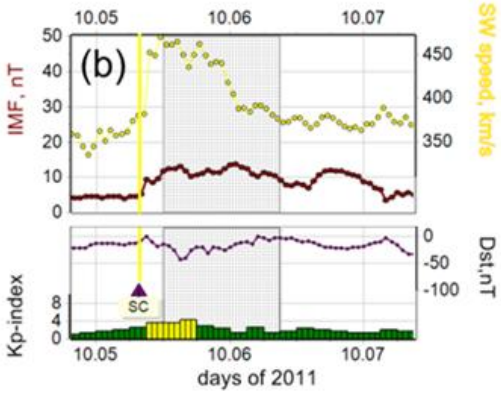
Vmax = 955 км/с

Bmax = 17.7 нТл

Kpmax = 8+

Dstmin = - 146 нТл





M1.2 (N10W06)

Vmax = 470 км/с

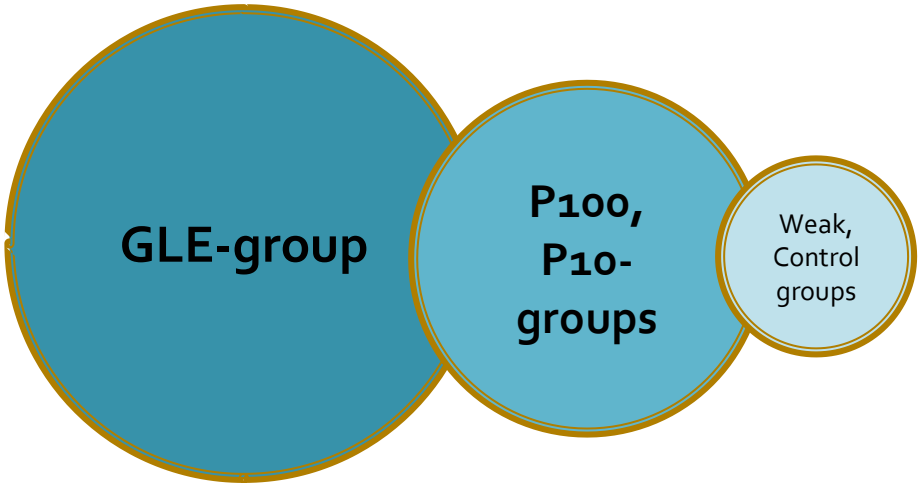
Bmax = 13.8 нТл

Kpmax = 4+

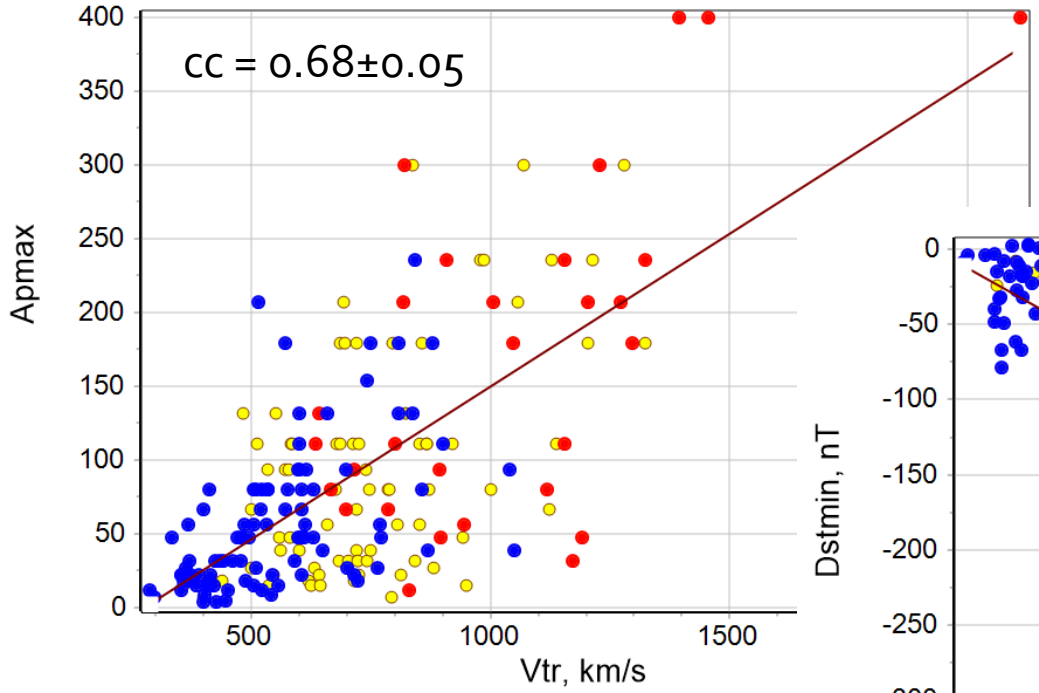
Dstmin = - 43 нТл

Средние значения основных параметров межпланетной среды и геомагнитной активности

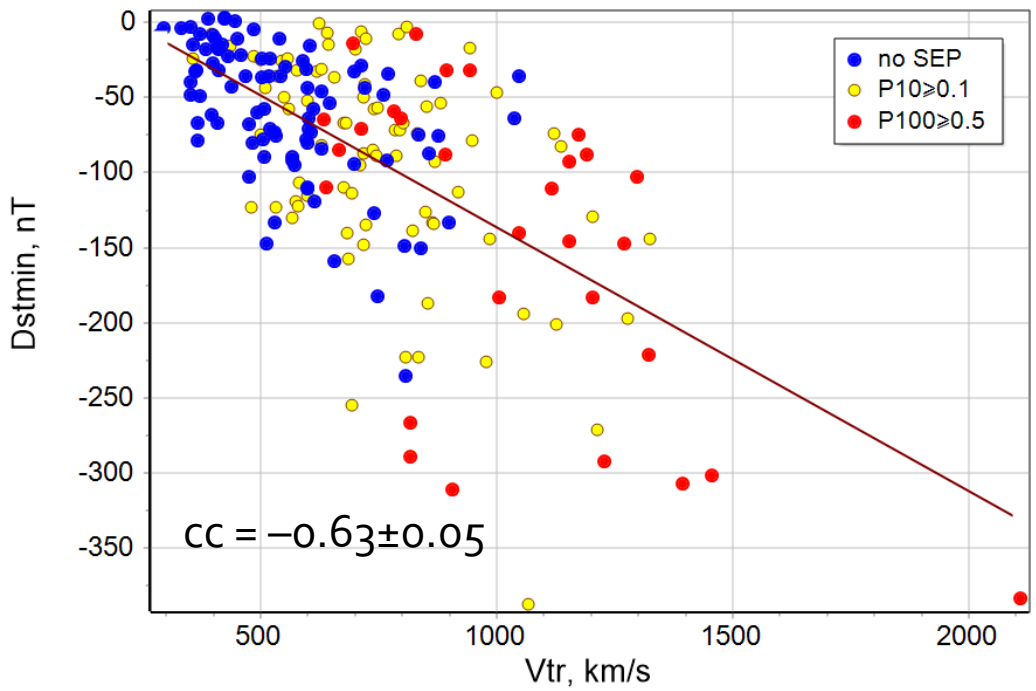
Параметры / группа	GLE	P100	P10	Weak	Control (No SEP)
Кол-во событий	9	20	26	55	91
Kpmax	7.85 ± 0.43	6.57 ± 0.35	6.53 ± 0.35	5.39 ± 0.22	4.78 ± 0.17
Apmax	235.22 ± 39.61	136.00 ± 22.03	136.58 ± 17.86	76.45 ± 7.76	58.00 ± 5.26
Dstmin, нТл	-220.3 ± 37.5	-114.2 ± 19.1	-119.6 ± 17.1	-78.5 ± 8.0	-57.8 ± 4.8
Bmax, нТл	35.13 ± 6.33	22.82 ± 3.11	24.63 ± 2.08	18.68 ± 1.21	14.21 ± 0.66
Vmax, км/с	1036.9 ± 151.3	698.9 ± 48.9	644.5 ± 32.1	562.9 ± 16.0	492.9 ± 13.3



Связи различных параметров



No SEP
P10>0.1 pfu
P100>0.5 pfu



Прогнозирование геомагнитной активности

Параметр	GLE-group	P100-group	P10-group	Weak-group	Control group (No SEP)
Вероятность, %					
Kpmax < 5–	0	10	19.5	32.5	45
Kpmax = 5–…6+	11	40	19	34.5	41
Kpmax = 7–…8+	56	40	50	33	14
Kpmax = 9–…9	33	10	11.5	0	0

***Hlon = E04–W35**

Заключение

- Исследованы характеристики СПС и геомагнитных возмущений с одними и теми же солнечными источниками за период 1975-2020 гг.
- Ускорительная и модуляционная эффективность мощных солнечных событий хорошо коррелируют
- Уровень геомагнитной активности тесно связан с транзитной скоростью КВМ
- Получен инструмент для прогнозирования геомагнитной активности на основе данных об уже начавшемся СПС

Belov et al., Universe, 8 (6), 327. **2022** https://doi.org/10.3390/universe8060327
Белов и др., Изв. РАН. Сер. физ. Т. 87. № 7. **2023** (в печати)